

UNIVERZITET U BEOGRADU

DIMITRIJE VORONJEC

**TEHNOLOŠKE
OPERACIJE**

MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 1998.

U N I V E R Z I T E T U B E O G R A D U

DIMITRIJE VORONJEC

**TEHNOLOŠKE
OPERACIJE**

MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 1998.

Dr Dimitrije Voronjec

TEHNOLOŠKE OPERACIJE

V izdanje

Recenzenti:

Dr Branislav Đaković, red. profesor

Dr Dobrosav Milinčić, red. profesor

Izdavač:

MAŠINSKI FAKULTET
UNIVERZITETA U BEOGRADU
Beograd, 27. marta br. 80

Štampanje odobrila
Komisija za izdavačku delatnost
Mašinskog fakulteta u Beogradu,
25. 03. 1998. godine.

Urednik:

Dr Dobrosav Milinčić

Tiraž: 200 primeraka

Štampa: Zavod za grafičku tehniku
Tehnološko-metalurškog fakulteta
Beograd, Karnegijeva 4

ISBN 86-7083-084-1

Preštampavanje ili fotokopiranje nije dozvoljeno

Predgovor

Prema sadašnjem nastavnom planu Mašinskog fakulteta u Beogradu ovaj udžbenik namenjen je redovnim studentima grupe za procesnu tehniku, koji predmet Tehnološke operacije slušaju u VI i VII semestru.

Specifičnost ovog kursa na Mašinskom fakultetu u Beogradu prouzrokovala je izvesna odstupanja od uobičajenih programa sličnih predmeta na drugim fakultetima u zemlji i inostranstvu. Mehaničke operacije i Hidromehaničke operacije skromno su obrađene s obzirom da se detaljnije proučavaju u okviru predmeta Tehnološki aparati. Pojedine oblasti klasičnog programa ovog predmeta su izostavljene, pošto se na grupi za procesnu tehniku obrađuju u posebnim predmetima: Termodinamika, Mehanika fluida, Transport cevima, Hidraulične mašine, Prenos toplote i mase, Rashladni uređaji, Tehnološki aparati i t.d.

S druge strane jače je naglašena oblast difuzionih operacija, a nepoznavanje osnova fizičke hemije i procesne hemije od strane slušalaca, zahtevalo je nešto detaljniju obradu pojedinih poglavlja. Usled skorog prelaska na novi nastavni plan, po kome će se uvesti poseban predmet Sušare, oblast sušenja u ovom udžbeniku nije obrađena u dovoljnoj meri, pošto se veći deo gradiva, sada, predaje u predmetu Tehnološki aparati.

Posebnu zahvalnost dugujem profesoru J.Šel-u za višegodišnje rukovodjenje mojim radom i usavršavanjem u ovoj oblasti, kao i na korisnim sugestijama prilikom pripreme ovog rukopisa za štampu. Za savesno pregledan rukopis, brojne diskusije i bitne primečbe veoma sam zahvalan prof.B.Djakoviću, prof. M.Šašić-u i Dipl.ing.Dj.Kozić-u.

Sve dobronamerne primečbe, uočene greške, primećene tehničke nedostatke i štamparske omaške autor će rado prihvatiti, kako bi se u eventualnom drugom izdanju mogle otkloniti.

S a d r ž a j

PREDGOVOR	II
SADRŽAJ	III
UVOD. DEFINICIJE I PODELA	1
1. MEHANIČKE OPERACIJE	5
1.1. Sitnjenje čvrstih materijala	5
1.1.1. Sitnjenje čeljustima*	11
1.1.2. Sitnjenje valjcima	13
1.1.3. Sitnjenje kotrljanjem	14
1.1.4. Sitnjenje kuglicama	15
1.2. Klasifikacija (sortiranje) čvrstog materijala prema veličini komada	17
1.2.1. Definicije karakteristične veličine (prečnika) zrna	17
1.2.2. Metode odredjivanja karakteristične veličine zrna	18
1.2.3. Sitovna analiza	19
1.2.4. Funkcije raspodele prema veličini zrna	25
1.2.5. Specifična površina zrnastog materijala	33
2. HIDROMEHANIČKE OPERACIJE	37
2.1. Tečni i gasoviti heterogeni sistemi	37
2.2. Opšti odnosi prilikom razdvajanja tečnih heterogenih sistema	38
2.3. Taloženje	41
2.4. Hidromehanička klasifikacija	48
2.5. Filtriranje	50
2.6. Centrifugiranje	58
2.7. Stvaranje tečnih heterogenih sistema. Mešanje.	64
2.8. Razdvajanje gasovitih heterogenih sistema	67
2.9. Taložnici (komore za taloženje prašine)	68
2.10. Inercioni odvajači prašine	70
2.11. Cikloni	71
2.12. Elektrostatičko prečišćavanje gasova	74
2.13. Prečišćavanje gasova filtriranjem	75
2.14. Vlažno prečišćavanje	76
2.15. Odredjivanja stepena dobrote prečišćavanja	77
3. DIFUZIONNE OPERACIJE	84
3.1. Osnove procesa transporta materije u dvofaznim sistemima	86

3.1.1. Difuzija u tečnostima i gasovima	86
3.1.2. Molekularna difuzija	87
3.1.4. Prelaz materije u tečnu ili gasovitu (parnu) fazu sa površine čvrste faze	89
3.1.5. Provođenje, prelaz i prenos materije u sistemima sa čvrstom fazom	91
3.1.6. Transport materije u sistemima bez čvrste faze	94
3.2. Uslovi termodinamičke ravnoteže višekomponentnih i višefaznih sistema	97
3.2.1. Pravilo faza	97
3.2.2. Izražavanje udela i koncentracija materije u fazama	98
3.2.3. Izobarski i hemijski potencijal. Zakon Henry-a i zakon Raoult-a	102
3.3. Ravnoteža u sistemima gas-tečnost	106
3.3.1. Konstante fazne ravnoteže	106
3.3.2. Ravnoteža u sistemima para-tečnost	107
3.3.3. Idealni rastvori tečnosti neograničene rastvorljivosti	108
3.3.4. Neidealni rastvori tečnosti neograničene rastvorljivosti	110
3.3.5. Tečnosti sa delimičnom rastvorljivošću	113
3.3.6. Nerastvorljive tečnosti	115
3.5. Ravnoteža u sistemima tečnost-tečnost	116
3.5. Ravnoteža u sistemima čvrsto telo-gas	119
3.6. Materijalni bilans procesa razmene materije i jednačina linije radnih koncentracija	121
3.7. Izražavanje pogonske sile kod procesa razmene materije	124
3.8. Metode proračuna aparata	127
3.9. Izotermske difuzione operacije	132
3.9.1. Sorpcioni procesi	132
3.9.2. Apsorpcija	135
3.9.3. Adsorpcija	144
3.9.4. Ekstrakcija	147
3.10. Neizotermske difuzione operacije	158
3.10.1. Termičke osobine binarnih rastvora i mešavina	159
3.10.2. $i - Y$ ($i - \xi$) dijagram binarnih rastvora i mešavina	164
3.10.3. Isparavanje i kondenzacija binarnih rastvora i mešavina	171
3.10.4. Topljenje i očvršćavanje (smrzavanje) binarnih rastvora i mešavina	176
3.10.5. Kontinualno isparavanje i kondenzacija	184
3.10.6. Diferencijalno isparavanje i kondenzacija	188

3.10.7. Apsorpcija pare tečnim rastvorom	189
3.10.8. Adijabatsko prigušivanje binarnih rastvora	191
3.10.9. Ukuvavanje (uparavanje)	191
3.10.10. Kristalizacija (izdvajanje soli)	198
3.10.11. Jednostepena ravnotežna destilacija	201
3.10.12. Diferencijalna ravnotežna destilacija	204
3.10.13. Frakciona destilacija	211
3.10.14. Destilacija sa deflegmacijom	212
3.10.15. Rektifikacija	218
4. SUŠENJE	249
LITERATURA	274
ČASOPISI	276

TEHNOLOŠKE OPERACIJE

UVOD. DEFINICIJE I PODELA.

Tehnologija u najširem smislu bavi se proučavanjem onih postupaka (operacija) pomoću kojih se iz polaznih sirovina dobijaju finalni produkti. Prilikom vršenja ovih operacija menjaju se osnovne fizičke i hemijske osobine tih sirovina. Očigledno je da su pojmovi sirovina i finalni produkt relativni i da se naravno menjaju od slučaja do slučaja. Ako se izostave one operacije kod kojih glavnu ulogu igra promena oblika polazne sirovine, tj. one operacije kod kojih su finalni produkti predmeti određenog oblika, pri čemu se ostale fizičke i hemijske osobine sirovine ne menjaju, dobija se tehnologija u užem smislu. Ta tehnologija je predmet proučavanja predmeta "Tehnološke operacije" i ona čini osnovu celokupne procesne tehnike i raznovrsnih i mnogobrojnih tehnoloških aparata.

Niz tehničkih znanja definisan kao procesna tehnika (hemijsko inženjerstvo, tehnološki postupci, tehnološke operacije) čini pored građevinskog, mašinskog i elektro-inženjerstva jednu od osnovnih grana savremene tehnike. Zadatak procesne tehnike je promena fizičko-hemijskih osobina materije, dok je promena oblika od sporednog značaja.

Ova tehnologija procesne industrije obuhvata u zavisnosti od polazne sirovine i finalnog produkta veoma široku oblast. Tehnologije šećera, cementa, hleba, sumporne kiseline, lekova, mesa, boje i lakova, nafte i t.d. međusobno se toliko razlikuju da su se razvile specijalne nauke sa odgovarajućim specijaliziranim stručnjacima za svaku od njih.

Detaljnijom analizom svih navedenih tehnologija dolazi se do zaključka da željene fizičke i hemijske promene nastaju uglavnom usled dejstva mehaničkih, hidromehaničkih i termodinamičkih uticaja. Ostali mogući uticaji usled kojih mogu da nastanu promene fizičkih i hemijskih osobina sirovine pojavljuju se u praksi znatno redje i neće, sem u izuzetnim primerima, biti predmet proučavanja ovog predmeta.

Fizikalna suština ovih osnovnih uticaja zajednička je za sve tehnologije, pa se naročito u zadnjim decenijama razvila posebna nauka Tehnološke operacije (Tehnološki postupci, Osnove tehnoloških aparata i t.d), koja se bavi proučavanjem ovih zajedničkih osnova svih tehnologija. Koji su mehanički, hidromehanički ili termodinamički uticaji potrebni za ostvarivanje zahtevanih fizičkih i hemijskih promena sasvim su različiti za razne tehnologije. Međutim, načini ostvarivanja tih opera-